

Rancang Bangun Inverter 3 Fasa dengan Metode V/F *Scalar Control* pada Mobil Listrik

Abdillah Aziz Muntashir¹, Era Purwanto², Syechu Dwitya Nugraha³
^{1,2,3} Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS, Keputih, Kecamatan Sukolilo, Surabaya,
Jawa Timur, Indonesia

email: abdillahaazis@gmail.com¹, era@pens.ac.id², syechu@gmail.com³

Abstrak - Berkurangnya cadangan minyak dunia mendorong penelitian dalam menemukan energi terbarukan. Perkembangan teknologi di berbagai bidang turut mendukung adanya penelitian tersebut. Mobil listrik menjadi solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan minyak bumi. Pada mobil listrik tidak dihasilkan emisi gas, karena tidak digunakannya bahan bakar minyak sehingga mengurangi ketergantungan penggunaan minyak bumi. Dalam penerapannya, mobil listrik digerakkan menggunakan motor induksi 3 fasa. Pada pengaturan tegangan dan frekuensi motor induksi 3 fasa, memiliki kelebihan dan kekurangan. Sehingga dibutuhkan suatu metode untuk mengoptimalkan pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa pada pengaturan tegangan dan frekuensi. Inverter 3 fasa menggunakan metode *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM), pengaturan kecepatan dilakukan melalui pengaturan frekuensi *output* dan tegangan *output* pada inverter 3 fasa. Motor induksi 3 fasa yang dipakai memiliki daya sebesar 1,5 HP dengan tegangan 220 Vrms. Pengontrolan kecepatan motor induksi 3 fasa dilakukan dengan *scalar control*. Prinsip dari *scalar control* ini memaksa motor memiliki hubungan yang konstan antara tegangan dan frekuensi, sehingga pengaturan kecepatan motor melalui tegangan dan frekuensi lebih optimal. Dengan perubahan nilai *modulation amplitude* (MA) dan nilai *modulation frequency* (MF) pada inverter 3 fasa, saat perbandingan ratio tegangan dengan frekuensi 220/50 maka dibutuhkan 322,6 VDC. Dengan kecepatan putar motor 1462 RPM dalam menggerakkan mobil listrik.

Kata Kunci - Motor Induksi 3 Fasa, *Scalar Control*, *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM).

Abstract - Reduction reserves world oil is encouraging research finding renewable energy. The development of technology in various fields also supports the existence of this research. Electric cars are a solution to reduce dependence on the use of petroleum. In electric cars no gas emissions are produced, because there is no use of fuel oil, thereby reducing dependence on the use of petroleum. In its application, an electric car is driven using 3 phase induction motor. In regulating the voltage and frequency of the 3 phase induction motor, it has advantages and disadvantages. So we need a method to optimize the speed regulation of 3 phase induction motors on voltage and frequency regulation. The 3-phase inverter uses the *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) method, speed regulation is done through setting the output frequency and output voltage on the 3 phase inverter. The 3 phase induction motor used has a power of 1.5 HP with a voltage of 220 Vrms. Controlling the speed of the 3 phase induction motor is done with a scalar control. The principle of this scalar control forces the motor to have a constant relationship between voltage and frequency, so that the regulation of motor speed through voltage and frequency is more optimally. With changes in the value of modulation amplitude (MA) and the value of modulation frequency (MF) on 3 phase inverter, when comparing the voltage to 220/50 frequency ratio, 322.6 VDC is needed. With a motor rotating speed of 1462 RPM in moving an electric car.

Keywords - Scalar control, *sinusoidal pulse width modulation* (SPWM), three phase induction motor.

I. PENDAHULUAN

Energi sangat diperlukan dalam menjalankan aktivitas perekonomian Indonesia, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun untuk aktivitas produksi berbagai sektor perekonomian. Kebutuhan akan energi bahan bakar setiap tahunnya terus meningkat, sedangkan cadangan minyak di Indonesia semakin menipis [1]. Dengan semakin menipisnya cadangan energi fosil pada satu sisi, sementara disisi lain konsumsi energi terus mengalami peningkatan, menjadi ancaman terhadap perkembangan perekonomian Indonesia. Melihat kondisi cadangan minyak bumi yang semakin berkurang penelitian terkait energi alternatif yang mudah dan ramah lingkungan semakin masif dilakukan termasuk pengembangan teknologi dibidang mobil listrik. Mobil listrik memiliki beberapa kelebihan yang potensial jika dibandingkan dengan mobil konvensional. Yang paling utama adalah mobil listrik tidak menghasilkan emisi kendaraan bermotor. Selain itu, mobil jenis ini juga mengurangi emisi gas rumah kaca karena tidak membutuhkan bahan bakar fosil sebagai penggerak utamanya. Pada akhirnya, ketergantungan minyak dari luar negeri pun berkurang.

Umumnya mobil listrik digerakkan dengan menggunakan motor induksi 3 fasa di mana pada motor induksi 3 fasa terdapat beberapa metode pengaturan kecepatannya. Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik yang banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi 3 fasa banyak digunakan di bidang industri karena harganya relatif murah untuk bidang industri dan mempunyai kehandalan yang tinggi. Selain itu, efisiensi motor induksi 3 fasa relatif tinggi pada keadaan normal dan tidak memerlukan biaya perawatan yang besar. Namun motor induksi 3 fasa memiliki beberapa kelemahan yaitu tidak dapat mempertahankan kecepatannya secara konstan bila terjadi perubahan beban, arus starting motor induksi 3 fasa biasanya 10-12 kali dari arus nominalnya serta kecepatan motor yang sulit dikontrol. Oleh karena itu untuk mendapatkan kecepatan yang konstan dan performansi sistem yang lebih baik terhadap perubahan beban dibutuhkan suatu pengontrol [2].

Pada beberapa pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa memiliki beberapa kelemahan, seperti halnya pada pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan mengatur frekuensinya saja, kecepatan motor induksi 3 fasa dapat diatur kecepatannya sesuai dengan frekuensinya tetapi semakin besar nilai frekuensinya torsi yang didapatkan pada motor tersebut akan turun. Pada pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan mengatur tegangan sumber, kecepatan motor induksi 3 fasa dapat diatur apabila dalam keadaan berbeban, torsi yang dihasilkan motor semakin besar dengan semakin besarnya tegangan sumber [3]. Tetapi dengan mengatur tegangan sumber yang terlalu besar dapat mengakibatkan terjadinya fenomena saturasi pada fluks [4].

Pengontrol kecepatan motor induksi 3 fasa dilakukan dengan *scalar control* atau biasa disebut juga kontrol tegangan/frekuensi (V/F). Prinsip dari kontrol skalar ini adalah memaksa motor memiliki hubungan yang konstan antara tegangan dan frekuensi [2]. Sehingga diharapkan konsumsi arus tidak terlalu besar pada frekuensi rendah. Keuntungan menggunakan kontrol skalar ini memiliki struktur kendali yang sederhana, mudah dan cepat diprogram serta dapat dioperasikan dengan metode kendali loop terbuka tanpa pengendali kecepatan atau dengan pengendali kecepatan, sehingga secara ekonomis lebih murah [2]. Dengan menggunakan metode *scalar control* dapat mengatasi kelemahan pada pengaturan kecepatan motor induksi yaitu arus starting pada motor tidak terlalu besar pada frekuensi rendah selain itu, dengan menjaga konstan nilai ratio tegangan dengan frekuensi pengaturan putaran dapat dijaga tetap, torsi yang didapatkan motor juga akan konstan sehingga fluks juga akan konstan, sehingga dapat mencegah terjadinya saturasi fluks, pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa lebih efektif dan menghasilkan respon yang baik [5]. Motor induksi 3 Fasa yang digunakan

memiliki daya 1,5 HP atau 1,2 Kw dengan frekuensi 50 Hz. Kecepatan mobil listrik diatur dengan mengatur nilai frekuensi dan menjaga ratio V/F. Kelebihan dibanding dengan inverter pada umumnya, daya yang dimiliki inverter ini lebih besar dikarenakan penggunaannya dalam mobil listrik serta menggunakan komponen semikonduktor IGBT untuk *switching* pada inverter 3 fasa sehingga *relative* mempunyai kapasitas yang besar pada inverter 3 fasa. Secara *general*, pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dapat dilakukan dengan pengaturan tegangan atau pengaturan frekuensi. Dengan teknik *switching Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)* dapat mengatur tegangan *output* keluaran pada inverter serta dapat mengatur frekuensi keluaran pada inverter [6], sehingga lebih efektif dan cocok dalam penggunaan *scalar control* pada motor induksi 3 fasa. Besarnya RPM keluaran yang dihasilkan oleh *throttle* dapat diatur, sehingga dapat diterapkan dalam efisiensi pada mobil listrik. Karena besarnya RPM berbanding lurus dengan frekuensi, perubahan frekuensi akan berpengaruh pada perubahan tegangan motor karena menjaga perbandingan konstan antara tegangan dan frekuensi. Perubahan RPM akan berpengaruh pada daya yang digunakan oleh motor, sehingga akan berpengaruh pada efisiensi atau waktu lama penggunaan baterai sebagai sumber utama pada mobil listrik.

II. METODE

Proses penelitian terbagi menjadi beberapa tahap yang dilakukan berdasarkan urutan dalam melakukan penelitian. Gambar 1 menjelaskan alur metode penelitian [7].



Gambar 1. Blok Digram Penelitian

A. Studi Literatur

Memperkuat perencanaan yang akan dikerjakan, dapat dilakukan dengan mempelajari literatur dari buku, jurnal, *paper* dan sumber lainnya tentang pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan metode V/F *scalar control* beserta pembuatannya.

B. Perancangan Sistem

Dalam membangun sistem, dibutuhkan *hardware* dan *software* yang terintegrasi dengan baik. Dibutuhkan perancangan dengan estimasi serta perhitungan untuk menentukan komponen dengan karakteristik yang sesuai.

C. Perancangan Perangkat Lunak

Untuk merealisasi penelitian ini dilakukan perancangan perangkat lunak (*software*) dari *system* yang dikontrol. Perancangan perangkat lunak meliputi:

1. Perancangan algoritma *system* perangkat lunak serta akuisisi data dari sensor untuk pengontrolan tegangan *output* dan frekuensi dari inverter untuk pengontrolan kecepatan motor induksi 3 fasa.
2. Perancangan SPWM pada *microcontroller* sebagai *drive* inverter 3 fasa.

3. Pemrograman pada *microcontroller* mengenai parameter-parameter dalam penyulutan IGBT pada inverter 3 fasa dan juga acara menampilkan hasil pembacaan sensor pada LCD *microcontroller*.
4. Perancangan V/F *scalar control* pada *microcontroller* sebagai pengontrol dari kecepatan putar motor induksi 3 fasa.

D. Perancangan Perangkat Keras

Pada tahap ini dilakukan pengujian analisa *system* pengatur kecepatan motor induksi 3 fasa dari pengaturan inverter 3 fasa. Selanjutnya dimulai pembuatan *hardware system* yang pada akhirnya juga akan diuji. Perancangan perangkat keras terdiri sebagai berikut:

1. Pemilihan Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi 3 fasa yang digunakan dalam penelitian seperti pada Gambar 2 yang dihubung secara Delta memiliki spesifikasi pada Tabel 1.



Gambar 2. Motor Induksi 3 Fasa

TABEL 1. SPESIFIKASI MOTOR INDUKSI 3 FASA

| Parameter | Nilai |
|-------------------|----------|
| Daya Motor | 1,5 HP |
| Jumlah Pole | 4 |
| Tegangan Motor | 220 V |
| Arus Nominal | 4,3 A |
| Frekuensi | 50/60 Hz |
| Cos phi | 0,79 |
| Kecepatan Nominal | 1423 Rpm |

2. Perancangan Inverter 3 Fasa

Inverter digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Tegangan AC tersebut digunakan untuk sumber tegangan dari motor induksi 3 fasa. Pada penelitian ini daya motor induksi 3 fasa yang digunakan sebesar 1,5 HP atau 1200 W, 220 Vrms hubung Delta. Sumber tegangan DC dihasilkan dari empat buah aki 12 V, 45 AH yang dipasang secara seri kemudian dinaikkan tegangannya melalui *ultra step up DC-DC converter*. Dari spesifikasi daya dan tegangan motor tersebut maka dapat digunakan untuk mendesain rangkaian inverter tiga fasa. Rangkaian inverter 3 fasa yang dibuat dengan perhitungan daya inverter dengan asumsi efisiensi sebesar 85 % dapat dihitung melalui Persamaan 1.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

$$85\% = \frac{1200}{P_{in}} \times 100\%$$

$$P_{in} = \frac{1200}{0,85}$$

$$P_{in} = 1412 \text{ Watt}$$

Jadi daya minimal rangkaian inverter tiga fasa yang dibuat sebesar 1412 watt (pembulatan 1,5 Kw). Berdasarkan spesifikasi motor induksi 3 fasa yang digunakan, maka dapat ditentukan arus minimal dari IGBT yang digunakan yaitu minimal sebesar 4,3 A x 12 (Pada saat kondisi starting motor) = 51,6 A. Sehingga IGBT yang digunakan yaitu IGBT modul dengan tipe 2MBI/150TA-060 sebanyak 3.

3. Perancangan Driver Inverter 3 Fasa

Driver inverter 3 fasa digunakan sebagai penyulut IGBT yang digunakan pada rangkaian inverter seperti pada Gambar 3, karena pulsa luaran dari mikro tidak mampu menyulut IGBT secara langsung. Tegangan luaran mikro sebesar ± 3 V, sedangkan tegangan penyulutan IGBT sebesar ± 15 V sehingga dibutuhkan *driver* IGBT inverter tiga fasa sebagai penyulut IGBT pada inverter. Pada pembuatan skematik, terdapat dua jenis IC, yaitu IC IR2111 dan FOD3182. IC IR2111 merupakan *driver* untuk inverter tiga fasa sedangkan FOD3182 merupakan IC *optocoupler*. *Optocoupler* merupakan rangkaian pemisah yang digunakan untuk mengopel suatu sinyal agar bagian kontrol dan bagian yang dikontrol tidak terhubung secara langsung, sehingga apabila terjadi kerusakan pada bagian yang dikontrol tidak menyebabkan kerusakan pada bagian kontrol.



Gambar 3. Hardware Driver Mosfet

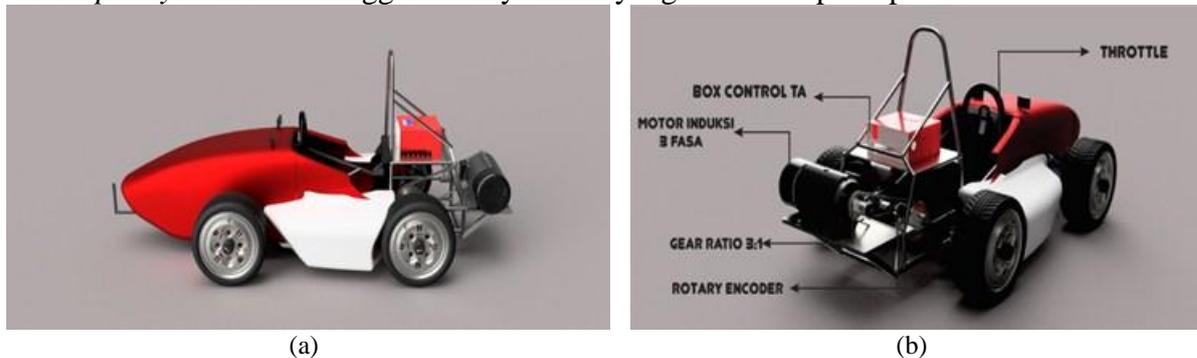
4. Perancangan Mekanik Dan Konstruksi Mobil

Pada penelitian ini, dengan menggunakan beban motor induksi 3 fasa dengan spesifikasi tegangan 220 Volt hubung Delta dan daya 1200 watt yang digunakan sebagai penggerak mobil listrik, di mana mekanik mobil listrik yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanik Mobil Listrik yang Digunakan

Gambar 4 merupakan mobil listrik yang digunakan dengan bobot 208 KG tanpa penumpang. Mobil ini menggunakan satu buah penggerak yakni motor induksi 3 fasa 1200 W dengan rasio perbandingan *gear* 3:1. Letak dari penggerak motor induksi 3 fasa ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5 yaitu desain dan rancangan dari konstruksi mobil listrik, di mana motor induksi 3 fasa terhubung langsung oleh perbandingan gear dan kemudian terhubung ke roda mobil. Sehingga putaran dari motor induksi 3 fasa dapat menggerakkan mobil listrik. Pada shaft rotor motor induksi 3 fasa terhubung langsung dengan rotary encoder (sensor kecepatan) melalui *pulley* dan *belt* sehingga besarnya RPM yang terukur dapat dipantau.



Gambar 5. (a) Desain mobil listrik tampak samping (b) Letak motor induksi 3 fasa pada mobil listrik

E. Pengujian Sistem

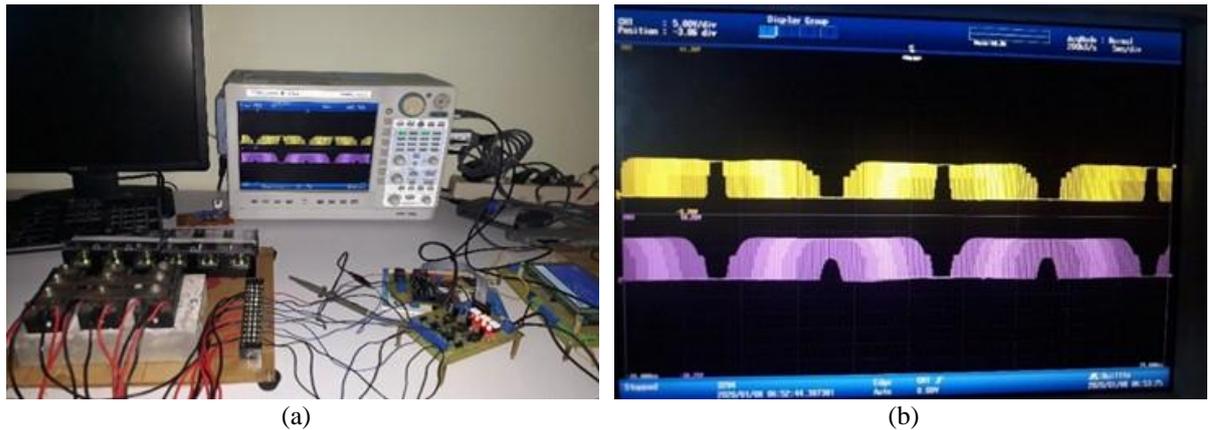
Pada tahap ini dilakukan pengujian *hardware* dan *software* sehingga diperoleh sistem pengontrolan kecepatan motor induksi 3 fasa yang sesuai. Terdapat beberapa pengujian yaitu Pengujian Driver Inverter 3 fasa, Pengujian Inverter 3 fasa dengan perubahan nilai MA, Pengujian Inverter 3 fasa dengan perubahan nilai MF, pengujian *V/F scalar control* serta Pengujian pengambilan respon kecepatan motor induksi 3 fasa

F. Analisa Data

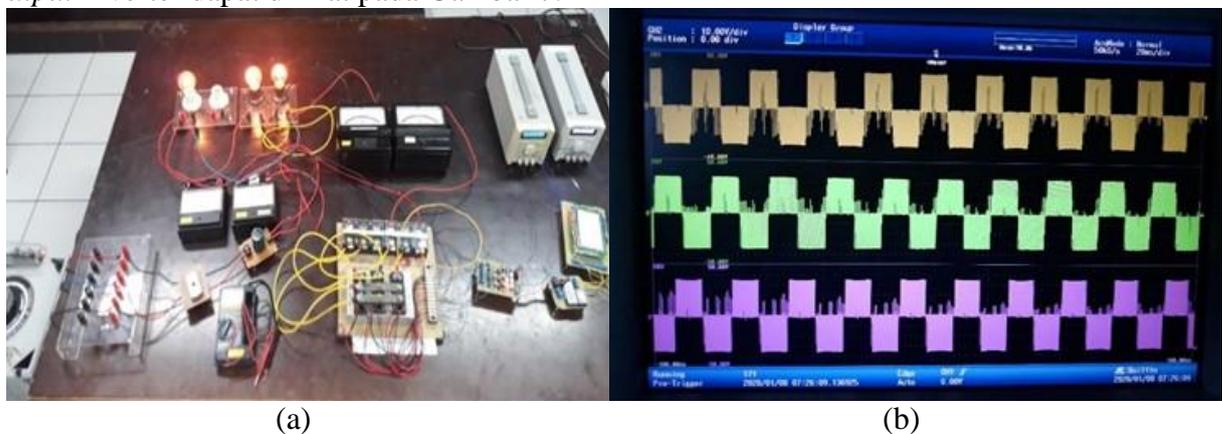
Pada tahap ini dilakukan analisa data mengenai penelitian yang dilakukan. Pada laporan tersebut dijelaskan mengenai semua hal yang berkaitan tentang pengerjaan penelitian, seperti penjelasan tentang komponen yang dipakai, proses pembuatan alat, sistem kerja alat, data-data hasil pengujian alat, dan lain sebagainya. Diharapkan penulisan laporan tersebut dapat bermanfaat sebagai bahan acuan di dalam pembuatan alat serupa pada waktu yang akan datang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian, pengujian dilakukan dengan mengatur nilai *modulation amplitude* (MA) pada inverter 3 fasa. Kemudian pengujian dilakukan dengan mengatur nilai *modulation frequency* (MF) pada inverter 3 fasa, serta pengujian pengambilan respon kecepatan motor dengan kecepatan motor yang berubah-ubah. Pada perancangan telah dijelaskan pembuatan *driver* inverter tiga fasa. Gelombang sinyal keluaran dan rangkaian pengujian driver inverter tiga fasa ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. (a) Rangkaian Pengujian Driver Inverter 3 Fasa (b) Sinyal keluaran Driver Inverter 3 Fasa Rangkaian pengujian inverter 3 fasa dengan beban lampu pijar dan gelombang tegangan *output* inverter dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. (a) Rangkaian Pengujian Inverter 3 Fasa Beban Lampu (b) Gelombang V_{L-L} Inverter 3 Fasa Pengujian inverter 3 fasa dengan beban lampu pijar dilakukan dengan cara mengubah-ubah tegangan input menggunakan variac 3 fasa yang kemudian disearahkan dengan rectifier, dengan acuan tegangan *output* pada inverter 3 fasa yaitu 220 volt. Beban yang digunakan 3 buah lampu pijar 100 watt (300 watt) yang dihubungkan secara Delta. Pada pengujian ini dilakukan dengan mengubah nilai modulasi amplitudo (MA) yaitu perbandingan antara *amplitude* sinyal sinus dengan *amplitude* sinyal *carrier* [8], dengan range 0,1 – 1. Tabel 2 dan Tabel 3 merupakan hasil pengujian inverter 3 fasa dengan beban lampu pijar 100 W x 3 hubung Delta dengan nilai MA 1 dan 0,9.

Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil pengujian, efisiensi didapatkan pada saat nilai MA=1 yaitu berkisar 82%, sedangkan pada saat nilai MA=0,9 yaitu berkisar 80%. Besarnya nilai efisiensi dapat dihitung menggunakan Persamaan 2 [9].

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{2}$$

Untuk mengatur tegangan *output* inverter dapat dilakukan dengan cara mengatur nilai MA nya, semakin kecil tegangan *output*nya maka effisiensinya juga akan kecil begitu pula sebaliknya. Pada saat nilai MA=1, tegangan VDC yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan keluaran inverter 220 Vrms yaitu sebesar 322,6 VDC. Pada saat nilai MA=0,9, tegangan VDC yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan keluaran inverter 220 Vrms yaitu sebesar 347,8 VDC. Sehingga semakin kecil nilai modulasi amplitudo (MA) maka menyebabkan nilai tegangan *output* inverter 3 fasa semakin kecil sehingga menyebabkan efisiensi juga semakin kecil. Atau dengan kata lain perubahan nilai modulasi amplitudo akan

berpengaruh pada nilai tegangan *output* pada inverter 3 fasa sehingga efisiensi terbaik akan didapatkan pada saat nilai modulasi amplitudo bernilai 1 yaitu didapatkan efisiensi terbaik sebesar 84,72%. Data pengujian inverter tertera pada Tabel 2 dan 3.

TABEL 2. DATA PENGUJIAN INVERTER 3 FASA DENGAN MA=1

| MA | V _{L-L} (V) | I _{L-L} (A) | VDC(V) | I _{DC} (A) | Po(W) | Pin(W) | η(%) |
|----|----------------------|----------------------|--------|---------------------|---------|---------|-------|
| 1 | 20 | 0,22 | 29,5 | 0,32 | 7,621 | 9,44 | 80,73 |
| | 40 | 0,29 | 57,5 | 0,43 | 20,091 | 24,725 | 81,26 |
| | 60 | 0,34 | 92 | 0,51 | 35,333 | 41,82 | 84,48 |
| | 80 | 0,40 | 118,3 | 0,6 | 55,425 | 67,98 | 81,53 |
| | 100 | 0,44 | 144,2 | 0,67 | 76,21 | 92,914 | 82,02 |
| | 120 | 0,49 | 170 | 0,72 | 101,844 | 120,2 | 84,72 |
| | 140 | 0,53 | 201,5 | 0,8 | 128,518 | 155 | 82,91 |
| | 160 | 0,57 | 234,7 | 0,85 | 157,963 | 188,495 | 83,80 |
| | 180 | 0,61 | 260,1 | 0,91 | 190,179 | 228,491 | 83,23 |
| | 200 | 0,64 | 287,5 | 0,95 | 221,702 | 264,125 | 83,93 |
| | 220 | 0,68 | 322,6 | 1 | 259,11 | 312,6 | 82,88 |

TABEL 3. DATA PENGUJIAN INVERTER 3 FASA DENGAN MA=0.9

| MA | V _{L-L} (V) | I _{L-L} (A) | VDC(V) | I _{DC} (A) | Po(W) | Pin(W) | η(%) |
|-----|----------------------|----------------------|--------|---------------------|---------|---------|-------|
| 0,9 | 20 | 0,21 | 32,42 | 0,33 | 7,275 | 10,369 | 70,16 |
| | 40 | 0,28 | 64,1 | 0,44 | 19,399 | 26,411 | 73,45 |
| | 60 | 0,34 | 98,8 | 0,53 | 35,334 | 45,4 | 77,82 |
| | 80 | 0,4 | 127,7 | 0,62 | 55,426 | 68,313 | 81,13 |
| | 100 | 0,44 | 158,8 | 0,69 | 76,210 | 94,92 | 80,28 |
| | 120 | 0,485 | 190,6 | 0,74 | 100,805 | 125,36 | 80,41 |
| | 140 | 0,53 | 223,8 | 0,83 | 128,518 | 158,668 | 80,99 |
| | 160 | 0,57 | 254,8 | 0,86 | 157,963 | 195,13 | 80,95 |
| | 180 | 0,61 | 284,6 | 0,93 | 190,179 | 235,14 | 80,87 |
| | 200 | 0,64 | 318,3 | 0,98 | 221,703 | 268,685 | 82,51 |
| | 220 | 0,68 | 347,8 | 1,1 | 259,115 | 320 | 81,48 |

Rangkaian pengujian inverter 3 fasa dengan beban motor induksi 3 fasa dan gelombang tegangan *output* inverter dapat dilihat pada Gambar 8.



(a)



(b)

Gambar 8. (a) Rangkaian Pengujian Inverter 3 Fasa Beban Motor Induksi 3 Fasa (b) Gelombang V_{L-L} Inverter

Tabel 4 dan Tabel 5 merupakan hasil pengujian inverter 3 fasa dengan beban motor induksi 3 fasa dengan daya 1200 watt hubung Delta, pada pengujian ini dilakukan dengan cara merubah nilai frekuensi *output* yang berpengaruh pada nilai MF, nilai MF sendiri yaitu perbandingan antara frekuensi sinyal *carrier* dengan frekuensi sinyal sinus [8]. Dari data yang didapatkan, pada saat inverter 3 fasa dibebani motor induksi 3 fasa maka efisiensi yang didapatkan berkisar 75%. Pada saat pengujian frekuensi 50 Hz dengan tegangan *output* 220 Vrms didapatkan nilai arus *output* sebesar 3,3 A dan nilai kecepatan motor sebesar 1500 RPM. Pada saat pengujian

frekuensi 40 Hz dengan tegangan *output* 220 Vrms didapatkan nilai arus *output* sebesar 5,3 A dan nilai kecepatan motor sebesar 1190 RPM. Sehingga dengan perubahan nilai modulasi frekuensi (MF) akan berpengaruh pada nilai frekuensi *output* pada inverter 3 fasa. Semakin kecil nilai frekuensi yang dihasilkan maka kecepatan putar motor yang dihasilkan juga semakin kecil.

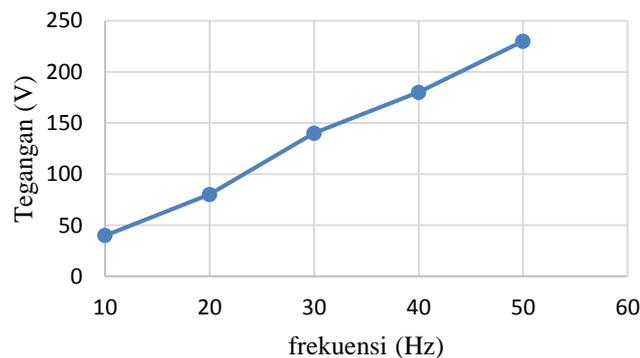
TABEL 4. DATA PENGUJIAN INVERTER 3 FASA DENGAN $F=50$ HZ

| VDC (V) | I _{DC} (A) | V _{L-L} (V) | I _{L-L} (A) | Cos ϕ | Rpm | Po(W) | Pin (W) | η (%) |
|---------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|------|-------|---------|------------|
| 322 | 0,51 | 220 | 2,9 | 0,36 lag | 1500 | 120 | 160 | 75 |
| 287 | 0,42 | 200 | 2,3 | 0,37 lag | 1500 | 94 | 122 | 77,04 |
| 260 | 0,36 | 180 | 1,95 | 0,37 lag | 1499 | 75 | 97 | 77,31 |
| 233 | 0,33 | 160 | 1,68 | 0,38 lag | 1499 | 58 | 75 | 77,33 |
| 200 | 0,3 | 140 | 1,45 | 0,40 lag | 1498 | 44 | 60 | 73,33 |
| 170 | 0,28 | 120 | 1,2 | 0,42 lag | 1498 | 38 | 46 | 82,60 |
| 140 | 0,26 | 100 | 1 | 0,48 lag | 1496 | 30 | 35 | 85,71 |
| 117 | 0,25 | 80 | 0,8 | 0,58 lag | 1496 | 21 | 25 | 84 |
| 90 | 0,25 | 60 | 0,6 | 0,78 lag | 1494 | 17 | 20 | 85 |
| 55 | 0,29 | 40 | 0,5 | 0,94 lag | 1484 | 10 | 14 | 71,42 |
| 30 | 0,46 | 20 | 0,5 | 0,96 lag | 1396 | 8 | 10 | 80 |

TABEL 5. DATA PENGUJIAN INVERTER 3 FASA DENGAN $F=40$ HZ

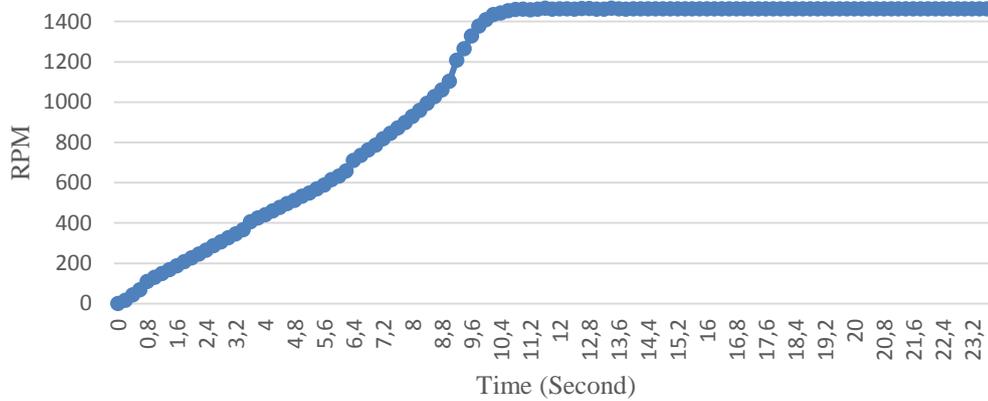
| VDC (V) | I _{DC} (A) | V _{L-L} (V) | I _{L-L} (A) | Cos ϕ | Rpm | Po (W) | Pin (W) | η (%) |
|---------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|------|--------|---------|------------|
| 322 | 0,82 | 220 | 5,3 | 0,36 lag | 1190 | 300 | 380 | 78,94 |
| 286 | 0,79 | 200 | 3,99 | 0,36 lag | 1199 | 180 | 230 | 78,26 |
| 260 | 0,55 | 180 | 2,95 | 0,36 lag | 1199 | 110 | 140 | 78,57 |
| 232 | 0,42 | 160 | 2,26 | 0,36 lag | 1199 | 76 | 97 | 78,35 |
| 200 | 0,35 | 140 | 1,85 | 0,37 lag | 1199 | 55 | 70 | 78,57 |
| 170 | 0,32 | 120 | 1,55 | 0,38 lag | 1198 | 45 | 60 | 75 |
| 140 | 0,29 | 100 | 1,25 | 0,39 lag | 1198 | 30 | 40 | 75 |
| 116 | 0,25 | 80 | 1 | 0,48 lag | 1198 | 20 | 28 | 71,42 |
| 90 | 0,24 | 60 | 0,75 | 0,58 lag | 1195 | 15 | 18 | 83,33 |
| 54 | 0,24 | 40 | 0,5 | 0,8 lag | 1194 | 10 | 13 | 76,92 |
| 28 | 0,5 | 20 | 0,5 | 0,6 lag | 1046 | 5 | 7 | 71,42 |

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4 dan Tabel 5 maka didapat kurva karakteristik dari V/F konstan pada Gambar 9.

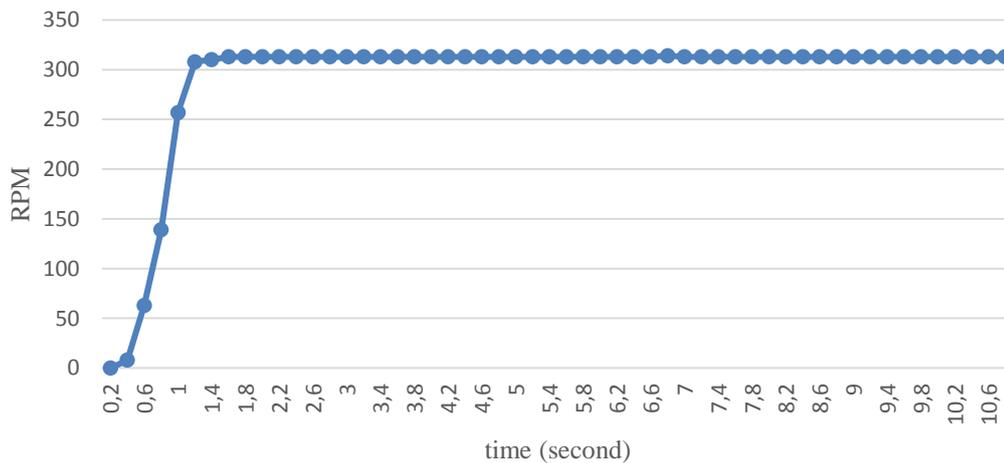


Gambar 9. Grafik V/F Konstan

Pada pengujian pengambilan respon kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan inverter 3 fasa, pengambilan respon ini dilakukan dengan melakukan variasi frekuensi, yaitu dari frekuensi 50 Hz hingga frekuensi 10 Hz. Berikut respon kecepatan yang didapat saat perubahan frekuensi 50 Hz dan 10 Hz pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Respon Kecepatan Motor pada Frekuensi 50 Hz dengan RPM = 1462 dan TS = 10,5 s



Gambar 11. Respon Kecepatan Motor pada Frekuensi 10 Hz dengan RPM = 313 dan TS = 1,8 s

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian dari rancang bangun inverter 3 fasa dengan metode *V/F scalar control* pada mobil listrik menghasilkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Dari respon kecepatan yang didapat saat pengujian inverter 3 fasa dengan beban motor induksi 3 fasa yang terhubung dengan mobil listrik, ketika nilai frekuensi 50 Hz maka didapatkan kecepatan putar motor sebesar 1462 RPM dengan respon yang cenderung lama karena tidak digunakannya suatu pengontrol untuk mempercepat respon dari motor induksi 3 fasa tersebut yaitu didapatkan nilai *settling time* (TS) 10,5 detik.
2. Pada saat pengujian inverter 3 fasa dengan mengatur nilai *modulation amplitude* (MA), pada saat nilai MA=1 nilai tegangan DC yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan keluaran inverter sebesar 220 Vrms sebesar 322,6 VDC dalam menggerakkan mobil listrik.
3. Dari grafik V/F konstan yang didapatkan dari hasil pengujian, grafik perbandingan tegangan terhadap frekuensi yang didapatkan masih belum linier sehingga ratio yang didapatkan masih belum konstan sebesar 4,4. Sehingga menyebabkan nilai torsi puncak

motor berubah-ubah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih saya kepada semua orang yang telah membantu berkontribusi dalam menyelesaikan penelitian ini dan semoga dapat bermanfaat bagi semua orang.

REFERENSI

- [1] Yamahendra, R. O. Rancang Bangun Sistem Penggerak motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Penggerak Mobil Listrik Berbasis Arm STM 32, Surabaya, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya; 2016.
- [2] Sumanjaya, R., Susanto, E., dan Wibawa, P. D. Perancangan Simulasi Sistem Kontrol Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa dengan Metode Kontrol Skalar. Bandung, Universitas Telkom. 2016.
- [3] Haryanto, H. Pembuatan Modul Inverter sebagai Kendali Kecepatan Putaran Motor Induksi. *Jurnal Rekayasa*. 2011; 4(1): 9-20.
- [4] Prasetia, A. M., dan Santoso, H. Implementation of Scalar Control Method for 3 Phase Induction Motor Speed Control. *Jurnal ELINVO*. 2018; 3(1): 63-69.
- [5] Akroum, H., Kidouche, M., and Aibeche, A. *Scalar Control of Induction Motor Drives using dSPACE DS1104*. Proceedings of the 2013 International Conference on Systems, Control and Informatics. Boumerdès, Algeria. 2013: pp. 322-327.
- [6] Trivedi, A., Solanki, R., Alwani, R., Shah, M., and Patel, A. *Design and Development of 3 Phase PWM Inverter*", IJSRD: National Conference on Emerging Trends, Challenges & Opportunities in Power Sector. 2017: 85-88.
- [7] Erawati, F. Aplikasi Switching SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroler STM32F4 Discovery (Pengembangan Modul Praktikum Pengemudian Elektrik). Surabaya, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya; 2015.
- [8] Hart, D. W. *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill. 2011: 494.
- [9] Rashid, M. H. *Power Electronics Handbook Devices, Circuits, and Application*. Third Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2011: 1362.